

GaN on Si型Gate Injection Transistorの駆動電流特性と電流コラプス現象の温度依存性に関する研究

著者	吉田 賢成
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	102-103
発行年	2020-08-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/00128996

修士学位論文要約（令和2年3月）

GaN on Si 型 Gate Injection Transistor の 駆動電流特性と電流コラプス現象の温度依存性に関する研究

吉田 賢成

指導教員：遠藤 哲郎

Study on Driving Current Characteristics of GaN on Si Type Gate Injection Transistor and its Current Collapse Phenomenon Temperature Dependence

Kenjo YOSHIDA

Supervisor: Tetsuo ENDOH

The GaN-power device's specific problem of normally-off has been solved by using a GIT (Gate Injection Transistor) structure. In the case of an HD (Hybrid Drain) -GIT structure, collapse-free operation has been realized. However, it is now demanded to reveal the stress dependence of characteristic deterioration during continuous driving and when the gate voltage is low. Since HD-GIT, which requires high-frequency operation, must reduce switching loss, it is also necessary to reveal the effect on high-frequency operation. In order to solve the above problems, by actual measurement, this paper reveals the DC and AC characteristics of the GaN on Si HD-GIT which is required for future power conversion without deterioration.

1. はじめに

GaN 特有のノーマリオフ化の問題は GIT 構造にすることで解決済みで、HD-GIT 構造¹⁾の場合コラプスフリーが実現したが、連続駆動時やゲート電圧が低い場合の特性劣化のストレス依存性の解明が必要であった。そして、高周波での動作が要求される HD-GIT はスイッチング損失の低減がマストであるため、高周波動作への影響も解明する必要がある。以上の課題解決に向け、本論文では将来の電力変換で必要となる GaN on Si 型 HD-GIT の DC 特性、AC 特性を実測により解明し、より高電圧、高周波下で特性が劣化せず動作可能なパワーデバイスの実現に貢献することを本研究の目的とした。

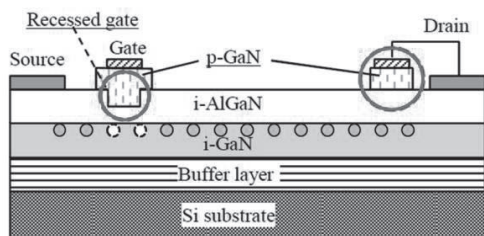


図1 HD-GIT の構造

2. GaN on Si HD-GIT の基礎特性とその利点

従来型の GIT ではゲート電極部の下に p 型にドーピングされた GaN(p-GaN)を設置したことで p-GaN のホー

ルが 2DEG と再結合することでゲートの下の 2DEG だけ空乏化させることでノーマリオフ化が達成されていた。また、電流コラプスでトラップされた電子についても同様に p-GaN のホールが注入され再結合することで電流コラプスが緩和されていた。HD-GIT ではドレイン部付近にも p-GaN を設置した。これによってオフ状態でドレインに高電圧を印加した時ホールが注入されてトラップされた電子が開放されることによるコラプス対策のみならず駆動力向上も実現した。更に、ゲート構造をリセス構造にしたことで得られたメリットが 2 つあり、1 つは AlGaAs 層を従来より厚くでき、その結果ドレインの p-GaN 領域下の二次元電子ガス濃度の低下を抑えられ駆動力向上が望めようになった、2 つ目はゲート直下の AlGaAs 層を薄くできるとともにチャネル長を長くできるようになったことで高閾値化が可能になった。以上のような性能改善がなされた GaN on Si 型 HD-GIT とその他の材料、構造が用いられたパワーデバイスの DC 特性を測定、解析した。また、得られた特性からオン抵抗を算出、比較した。GaN on Si HD-GIT のオン抵抗がカスコード型の 55.9 %となったことから GaN on Si デバイスの構造の中での HD-GIT 構造の優位性を示した。また、SiC MOSFET と比較して GaN on Si HD-GIT のオン抵抗が 65.4 %となったことから他のワイドバンドギャップ半導体デバイスの材料の中における GaN on Si 型 HD-GIT の優位性を示した。

3. GaN on Si HD-GIT の電流コラプス I_d-V_{ds} の ストレス依存性の解明

第 3 章では GaN on Si 型 HD-GIT における電流コラプス $I_d - V_{ds}$ の連続駆動測定で得られた電流のストレス依存性、連続駆動回数依存性について解析を行った。ストレス依存性、温度依存性から得られた結果から電子のトラップの解析を行った。電流コラプス $I_d - V_{ds}$ 連続駆動測定においては強いストレスがかかることによって格子欠陥に電子がトラップされて電流量が減少する電流コラプスが起きている可能性がわかったが $V_{ds\ off}$ を高くすることで安定連続駆動が可能になった。定格 V_{gs} における電流コラプス $I_d - V_{ds}$ 特性では定格ゲート電圧の場合、安定連続駆動が可能となり、線形領域はコラプスフリーであることを示した。電流コラプス $I_d - V_{ds}$ 時間依存性から得られた緩和時間より活性化エネルギーを求めたことで電流コラプスがストレス条件によって異なる電子トラップサイトに起因している可能性を示した。具体的にどのストレス条件の場合はどのトラップサイトにトラップされたかまで言及するには至らなかった。そして電流コラプスシグナルモニター $I_g - V_{gs}$ は *off stress time*、 $V_{ds\ off}$ を変えても変化率が減少したことから電流コラプス $I_g - V_{gs}$ 特性にはストレス依存性がないことが確認できた。

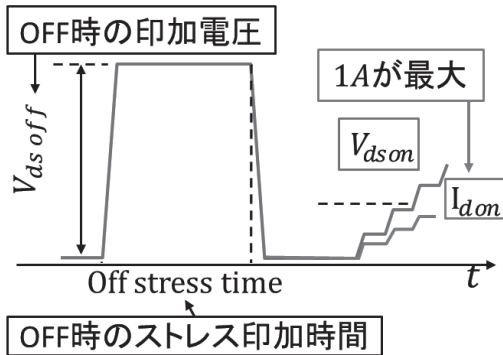


図 2 電流コラプス $I_d - V_{ds}$ のパラメータ

4. GaN on Si HD-GIT の高精度 C-V 特性の計測機器の負荷容量の解析

第 4 章では GaN on Si 型 HD-GIT の高精度 C-V 特性の計測技術の確立に向けた測定系の負荷の影響について述べた。プローバでの測定では周波数 100 kHz 以下では正確に測定できるが、周波数が 500 MHz、1 GHz 時には電圧が高くなるにつれて容量が下がり正しく測定できなくなった。この現象はテストフィクスチャを用いることで解消した。また、ケーブル長比較ではケーブルが短い場合では 0.20 pF 程度容量が大きくなった。以上の結果からケーブルの長さによる影響は 1 MHz $V_{ds}=500$ V 時には 0.23 pF/m と分かった。よって今回の測定結果から現在立ち上

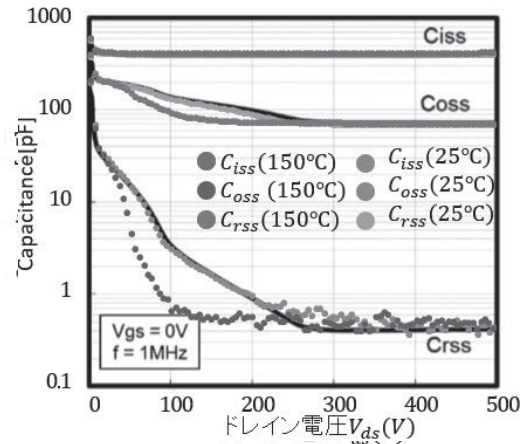


図 3 C-V 特性の温度依存性

げた測定環境はデータシート内の測定環境よりもケーブルの影響を排除できていると言えるため、高精度の C-V 特性の測定が確立できた。温度特性では C_{iss} , C_{oss} , C_{rss} 全ての容量において 150 °C における容量が 25 °C での容量を下回った。原因としては C-V 特性の測定原理が関係している。 $Q = CV$ は微小時間では $dQ/dt = C \cdot dV/dt$ から $I = C \cdot dV/dt$ と式変形でき、微小時間で電圧変化による電流の測定から容量を算出している。よって、GaN on Si デバイスでは、高温下では電流値が減少するため、電流値の減少が容量の低下に影響した。以上の結果から高温下でドレイン電圧 $V_{ds} = 100$ V ~ 200 V 付近での利用する場合容量が常温時と比較して小さくなった。

5. まとめ

以上より本論文では、将来の電力変換で必要となる GaN on Si 型 HD-GIT の DC 特性、AC 特性を実測により解明し、より高電圧、高周波下で特性が劣化せず動作可能なパワーデバイスの実現に貢献する有用な知見を得た。

文献

- 1) Saichiro Kaneko “Current-collapse-free Operations up to 850V by GaN-GIT utilizing Hole Injection from Drain” 27th International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's, 2015
- 2) Y.Tokuda “DLTS/MCTS 法による GaN の電子・正孔トラップ評価と技術” 平成 27 年度新エネルギー技術研究拠点プロジェクトシンポジウム Nov 20, 2015